

(20) 水質を指標としたフィルダムにおける浸透経路の推定

熊本大学工学部	正会員	中島重旗
"	"	下津昌司
顧問組	"	○ 塩崎 功
"	"	向上拡美

Estimation of Seepage in the Rock Fill Dam Using Water Quality

Shigeki NAKAJIMA	Kumamoto University
Masashi SHIMOTSU	Kumamoto University
Isao SHIOZAKI	Hazama-Gumi, Ltd.
Hiromi KOJO	Hazama-Gumi, Ltd.

A groundwater investigation performed before and after filling the reservoir to study the characteristics of groundwater quality at the rock fill dam two years from initial filling.

The results were as follows:

- ① Variation in groundwater quality before and after filling the reservoir became smaller than that of initial filling due to seepage from the reservoir into the rock for two years.
- ② Investigating groundwater quality during the initial filling is most effective to estimate the flow routes of seepage.
- ③ Small variation in groundwater quality could be expressed clearly by the principal component analysis based on the water quality.

1. はじめに

天然地下水中に含まれる物質は、その流路にある岩石の種類、その風化の程度、地下水の滞留時間等多くの情報を含んでいる。したがって、地下水の水質調査を行うことにより、地下水系の区分、トンネル湧水起源の推定などが可能となる。さらに、放射性廃棄物処分施設等の立地に際しては、地下水環境としての水質が非常に重要な意味を持つてくる。

筆者らは、栃木県の寺山ダム完成後の初期湛水時に、 ^{222}Rn (ラドン) や溶存イオンを含めた、フィルダム周辺の地下水調査を実施し、湛水時における浸透経路の予測を行っている¹⁾²⁾。

その後、同ダムにおいて初期湛水開始から2年経過した第3回目の湛水時においても、同様な水質調査を実施した。本報告では、今回の調査結果と初期湛水時における調査結果を比較し、貯水位の上昇・下降を2回繰り返した後、貯水池周辺の地下水質が時間的・場所的にどのように変化するかについて検討する。

2. 調査地点の概要

調査対象の寺山ダムは、栃木県那珂川水系宮川に位置する洪水調節・かんがい用水・上水道用水を目的としたセンターコア型ロックフィルダムである。

寺山ダムの左岸および基礎は、新第三系の流紋岩・凝灰岩を主体とし、右岸は、第四系の安山岩溶岩と凝灰角レキ岩、湖沼堆積物(砂レキ、軽石混じり火山灰、泥岩)、崖錐堆積物などが不整合に覆っている。

図-1 に、地質平面図、ダム軸地質断面図を示し、図-2 に貯水位と漏水量の時間変化および水質の調査時期を示す。

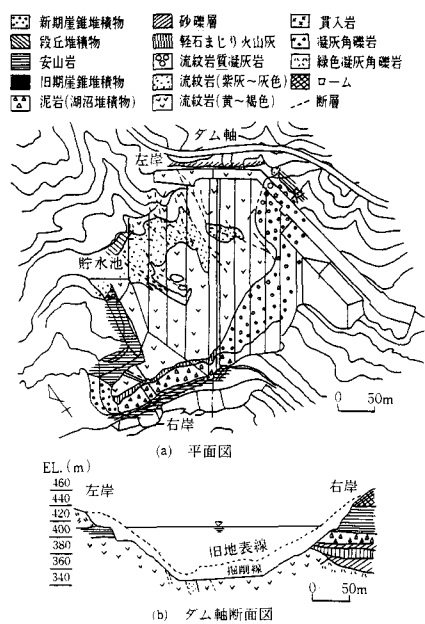


図-1 地質図

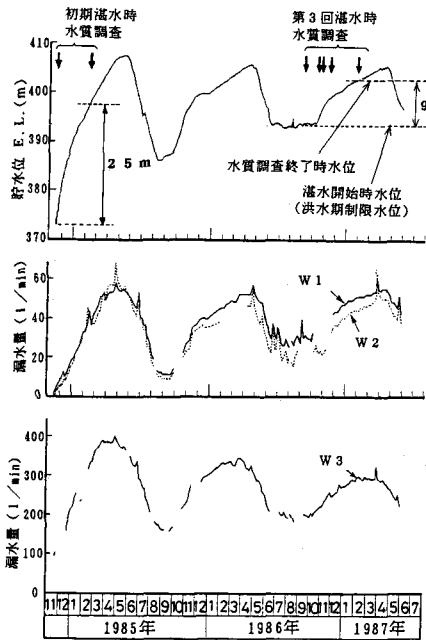


図-2 貯水位と漏水量の時間変化

3. 採水地点と測定項目

採水地点の平面図を図-3 に示す。BL はギャラリートンネル内の採水地点を示し、WL はボーリング孔による採水地点を示す。W1 は左岸側、W2 は右岸側からの浸透水をギャラリートンネル内で集水したものである。また、G1、G2 は地表面の湧水箇所を示す。

測定項目は、水温、pH、電気伝導度、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 、 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、および ^{222}Rn である。

4. 調査結果

湛水前の1986年9月12日と湛水後の1987年2月10日に採水した地下水のイオン濃度の分析結果をキーダイヤグラムに示したものを図-4、5 に示す。

図-4、5 のキーダイヤグラムは、この地域の地下水はNa に比べてCa が多いことを示し、全体的に浅層地下水の特徴を表している。ただし、このダイヤグラム上で水質組成により地下水を客観的な立場で分類することは、このままでは困難である。

したがって、初期湛水時と同様、主成分分析とクラスター分析を利用して水質データを再評価した。主成分分析で用いた項目は、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 、 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} の7 変量である。7 変量による主成分分析の結果、第1主成分軸 z_1 の寄与率は43%、 z_2 軸を含めた累積寄与率は77% となり、

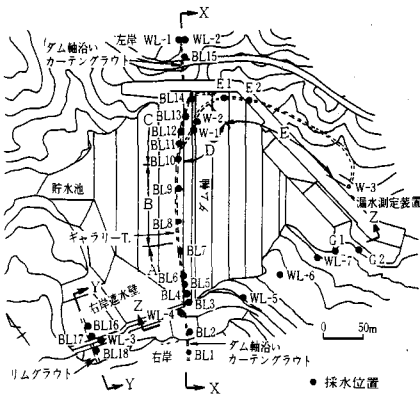


図-3 採水地点平面図

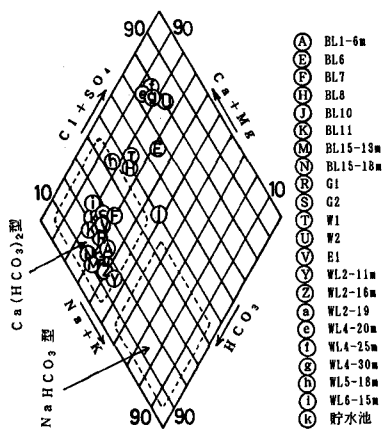


図-4 湛水前の水質キーダイアグラム

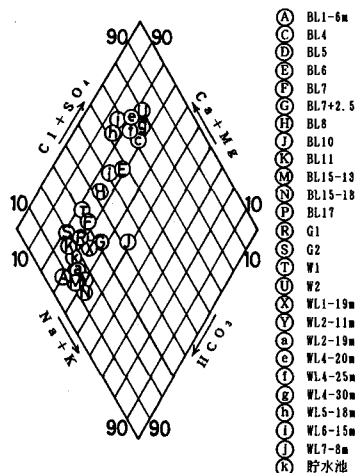


図-5 湛水後の水質キーダイアグラム

水質は次式で示す z_1 、 z_2 の2つの主成分で表現することができた。

$$z_1 = 0.124 \text{Cl}^- + 0.320 \text{SO}_4^{2-} - 0.547 \text{HCO}_3^- - 0.406 \text{Na}^+ - 0.467 \text{K}^+ - 0.086 \text{Ca}^{2+} + 0.438 \text{Mg}^{2+} \quad (1)$$

$$z_2 = 0.271 \text{Cl}^- + 0.498 \text{SO}_4^{2-} + 0.045 \text{HCO}_3^- + 0.325 \text{Na}^+ + 0.299 \text{K}^+ + 0.601 \text{Ca}^{2+} + 0.347 \text{Mg}^{2+} \quad (2)$$

ここで、*印は平均0、分散1となるように標準化されたイオン濃度を示す。

第1主成分 z_1 の固有ベクトルは Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 Mg^{2+} が正の値で、他は負の値となっている。これは、 z_1 軸方向の値が大きいほど Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 Mg^{2+} の濃度が高くなると同時に、他のイオン濃度が低くなることを意味する。化学的に明確な意味付けをすることはできないが、 z_1 軸はイオン交換作用を反映したものであると考えられる。また第2主成分 z_2 の固有ベクトルは、すべて正の値となっている。この場合、

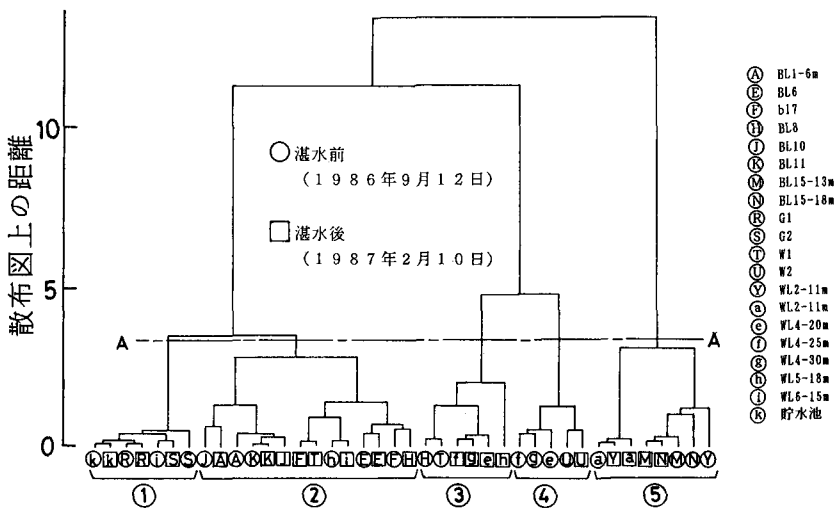


図-6 湛水前後の水質のデンドログラム

z_2 軸はすべてのイオンの増加を示し、地下水の溶出作用を示すものであるといえる。

次に、各採水地点の地下水の水質の時間変化、およびその類似性を明らかにするためにクラスター分析を実施した。クラスター分析とは、 z_1 、 z_2 の2つの主成分軸上で各データ間の距離を計算することによりその類似度を求め、複数のデータを適切なクラスター（グループ）に分類する方法である。その結果、図-6に示すデンドログラムが作成される。デンドログラムの縦軸は、ウォード法を用いて計算した各グループ間の距離を示す。このデンドログラムをどの位置で切り、いくつのグループに分類するかは、その結果分類された地下水のグループが、採水地点の地形・地質情報と矛盾しないものであるか否かによって判断される。

今、図-6のA-Aのラインで切ることにより、湛水前後の地下水は図-7に示すように、貯水池水との類似性が高い順に①～⑤の5つのグループに分類することができる。

5. 初期湛水時の調査結果と今回の調査結果との比較

まず、ダム基礎岩盤である流紋岩から最も溶出しやすい Na^+ 濃度の時間変化の1例を図-8に示す。これより、初期湛水時には湛水後に Na^+ 濃度が大きく増加しているのに対し、第3回湛水時は、その変化が非常に小さいことがわかる。

次に、初期湛水時と第3回湛水時に測定されたラドン濃度とイオン濃度より推定された貯水池水の浸透経路を表-1に示す。

初期湛水時と第3回湛水時の両方で浸透経路と推定された地点は、W1、WL2、WL4である。しかし、初期湛水時には、WL2とWL4がラドン濃度とイオン濃度の両方から浸入の可能性が示されたのに対し、今回の調査では、いずれもどちらか一方から推定されるのみである。また、初期湛水時に浸透経路と推定された他の地点は、今回の調査では貯水池水の浸入の兆候が認められなかった。

これらは、以下のような理由によるものと考えられる。

初期湛水時には、基礎岩盤あるいは周辺岩盤に初めて大きな水圧が加わるために、岩石中の溶解成分が多く溶出し、浸透経路に位置する採水地点の水質は湛水前後で大きく変化する。また、その溶出の程度は、岩種により異なるために周辺地下水の水質も多様なものになると予想される。その後、水位の上昇下降を繰り返すことにより貯水池水が徐々に周辺岩盤に浸透するために、

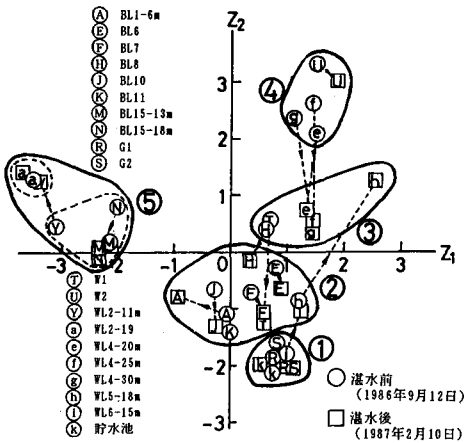


図-7 湛水前後の水質分類

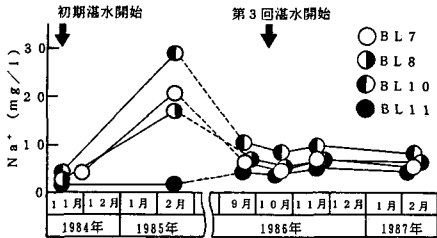


図-8 湛水前後の Na^+ 濃度の変化

表-1 貯水池水の浸透経路の推定結果

採水地点	指標	初期湛水時		第3回湛水時	
		ラドン濃度	イオン濃度	ラドン濃度	イオン濃度
BL2			□		-
BL5		○	-		-
BL7				○	
BL11		○	□		
BL15			□	変化大	
BL18		-	□		-
W1			□		□
WL2		○	□	○	
WL4		○	□		□
WL5		○			

○：ラドン濃度が湛水後50pCi/l以上低下した地点
 □：電気伝導率あるいはイオン濃度の変化より浸透経路と推定された地点
 -：欠測等により判定不可能な地点

岩盤が新鮮な場合には、湛水前後での水質変化は年月を経るにつれて小さくなる。

さらに、今回の湛水は洪水制限水位からの水位上昇であるために、初期湛水より水位変化量が小さいこと、初期湛水以後貯水位は一定のレベル以下に下がることがないために、浸透経路に位置する採水地点には貯水池水が定常的に浸入していること、図-2のW3の漏水量の時間変化にも示されるように、寺山ダムにおける漏水量は年とともに減少していること等も原因であると考えられる。

ただし、初期湛水時に浸透経路と判断され、今回の調査でラドン濃度あるいは水質の変化が認められなかった地点については、浸透経路としての可能性を否定することはできない。また、ラドン濃度あるいは水質の変化は地下水の流動形態の変化を示すものであり、そのどちらかが変化した地点は浸透経路である可能性が高いといえる。

以上より、ダム周辺の浸透経路を推定するには、初期湛水時における水質調査が最も有効であるといえる。今回のように初期湛水から2年経過したダムにおける水質調査では、定常的に貯水池水からの浸透水が流入している地点は、湛水前後における水質の変化が小さいために、水質情報のみでは、浸透経路の判断が下せない可能性が高い。

しかし、今回の調査結果でも、主成分分析法・クラスター分析法を用いて水質データを整理することにより、その時間変化が明瞭に示される地点もある。それは、図-7の主成分軸上で水質が大きく変化しているWL4、W1、WL5である。このうち、WL4、W1はいずれも貯水池の水質に近くなる方向に変化しており、貯水池水の浸入の可能性が高いといえる。また、WL5は湛水前は貯水池水に近いグループに属していたが、湛水後は、 z_2 軸方向に大きく変化している。 z_2 軸は、すべてのイオン濃度の増加を示すことから、貯水位の上昇にともない岩盤中の溶存イオン濃度の高い地下水が押し出された可能性が高い。これらは、電気伝導度の時間変化からおおよそ推定できるが、主成分軸上ではその時間的な変化がより明瞭に表現される。

また、BL8は湛水前は③グループに属していたが、湛水後はより貯水池水のグループに近い②グループに変化している。しかし、その変化量は図-7に示すように小さく、この変化が貯水池水の浸入を示すものであるとは考えにくい。

6. まとめ

初期湛水から2年経過した寺山ダムにおいて、今回再度水質調査を行うことにより、以下の事項が明らかになった。

(1) 初期湛水時と今回の第3回湛水時における水質調査データを比較検討した結果、過去2回の湛水によって貯水池水が周辺岩盤に浸透することにより、湛水前後でのダム基礎岩盤内の地下水水質の変化は初期湛水時より小さくなる。

(2) 水質の調査結果からダム周辺の浸透経路を推定するには、初期湛水時における調査が最も有効である。

(3) 今回のように湛水前後での水質の変化が小さい場合にも、水質データを主成分分析法を用いて整理することにより、水質の時間変化量とその傾向が明瞭に把握できる。

最後に、本観測に対する許可、ならびに資料・管理測定結果の提示をいただいた栃木県那珂川水系ダム建設事務所の方々に対し、深く謝意を表する次第である。

参考文献

- 1) 向上拡美、北村孝海、笠博義、安井義英：ラドン濃度計測によるフィルダム初期湛水時における漏水経路の推定、第19回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集、pp.176-180、1987
- 2) 中島重旗、下津昌司、塩崎功、北村孝海、向上拡美：水質の多変量解析によるロックフィルダム漏水経路の診断、地下水学会誌、Vol.29、No.4、pp.171-182、1987